

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-188435  
(43)Date of publication of application : 04.07.2000

(51)Int.Cl. H01L 43/08  
G01R 33/09  
G11B 5/39  
H01F 10/08  
H01F 10/26

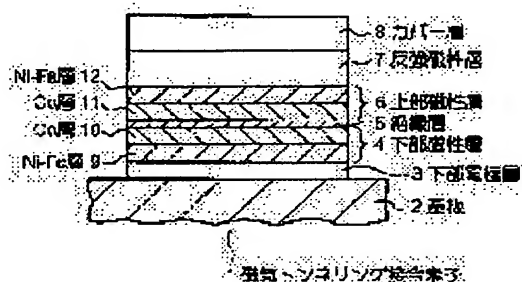
(21)Application number : 10-365596 (71)Applicant : SONY CORP  
(22)Date of filing : 22.12.1998 (72)Inventor : NAKASHIO EIJI  
KUMAGAI SEIJI  
SUGAWARA JUNICHI

(54) MAGNETIC TUNNELING JUNCTION ELEMENT AND ITS MANUFACTURE, MAGNETIC HEAD, MAGNETIC SENSOR, MAGNETIC MEMORY MAGNETIC RECORDING/REPRODUCING APPARATUS, MAGNETIC SENSOR AND MAGNETIC MEMORY USING THE ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic tunneling junction element which reduces a fault of insulating layer and also has a large magnetic resistance change coefficient in such a case that the upper magnetic layer/insulating layer/lower magnetic layer is provided.

SOLUTION: This junction element 1 has, on a substrate 2, a laminated material consisting of upper magnetic layer 6/insulating layer 5/lower magnetic layer 4/lower electrode layer 3. A conductance of a current flowing across the upper magnetic layer 6 and the lower magnetic layer 4 holding an insulating layer 5 utilizes the magnetic tunneling effect, depending on the relative angle of magnetization of upper magnetic layer 6 and the magnetization of lower magnetic layer 4. The surface roughness of the surface for the lower magnetic layer 4 of the lower electrode layer 3 is 0.5 nm or less.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.09.2001  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-188435

(P2000-188435A)

(43) 公開日 平成12年7月4日 (2000.7.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テロト* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/08	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/08		10/26	
10/26		G 0 1 R 33/06	R

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-365596

(22) 出願日 平成10年12月22日 (1998. 12. 22)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 中塩 榮治

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 熊谷 静似

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 菅原 淳一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

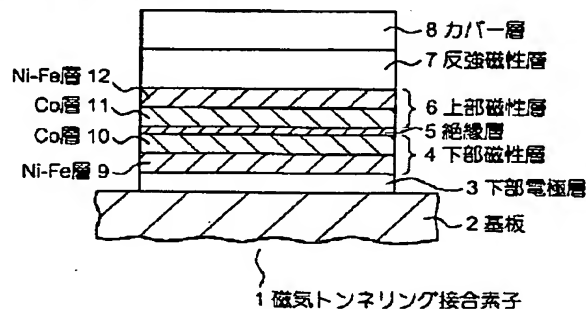
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気トンネリング接合素子およびその製造方法、これを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリならびに磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置

(57) 【要約】

【課題】 上部磁性層／絶縁層／下部磁性層を有する積層体を具備する磁気トンネリング接合素子およびその製造方法、これを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリならびに磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置において、絶縁層の欠陥などを低減するとともに、大きな磁気抵抗変化率を有する磁気トンネリング接合素子を提供する。

【解決手段】 基板2上に、上部磁性層6／絶縁層5／下部磁性層4／下部電極層3を有する積層体を具備し、絶縁層5を挟み上部磁性層6と下部磁性層4との間に流れる電流のコンダクタンスが、上部磁性層6の磁化と下部磁性層4の磁化との相対角度に依存する磁気トンネリング効果を用いる磁気トンネリング接合素子1において、下部電極層3の下部磁性層4に対する面の表面粗さは0.5nm以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、上部磁性層／絶縁層／下部磁性層／下部電極層を有する積層体を具備し、前記絶縁層を挟み前記上部磁性層と前記下部磁性層との間に流れる電流のコンダクタンスが、前記上部磁性層の磁化と前記下部磁性層の磁化との相対角度に依存する磁気トンネリング効果を用いる磁気トンネリング接合素子において、前記下部電極層の前記下部磁性層に対する面の表面粗さは 0.5 nm 以下であることを特徴とする磁気トンネリング接合素子。

【請求項 2】 前記下部電極層の前記下部磁性層に対する面の表面粗さは 0.3 nm 以下であるとともに、磁気抵抗変化率は 10% 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子。（ただし、 $\text{磁気抵抗変化率} = (R_{\max} - R_s) / R_s \times 100\%$   
 $R_{\max}$  : 前記上部磁性層と前記下部磁性層との間の抵抗値の最大値  
 $R_s$  : 前記下部磁性層の磁化容易軸方向に印加する磁界が 24 kA/m の時の前記抵抗値。）

【請求項 3】 前記下部電極層は、Cu、Pt、Pd および Au の非磁性金属のうちの少なくともいずれか 1 種を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする磁気センサ。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする磁気メモリ。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッドを装着したことを特徴とする磁気記録再生装置。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気センサを装着したことを特徴とする磁気センサ装置。

【請求項 9】 請求項 1 に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気メモリを装着したことを特徴とする磁気メモリ装置。

【請求項 10】 基板上に、上部磁性層／絶縁層／下部磁性層／下部電極層を有する積層体を形成し、前記絶縁層を挟み前記上部磁性層と前記下部磁性層との間に流れる電流のコンダクタンスが前記上部磁性層の磁化と前記下部磁性層の磁化との相対角度に依存する磁気トンネリング効果を用いる磁気トンネリング接合素子の製造方法において、前記下部電極層の前記下部磁性層に対する面の表面粗さを 0.5 nm 以下に形成することを特徴とする磁気トンネリング接合素子の製造方法。

【請求項 11】 前記下部電極層の前記下部磁性層に対する面の表面粗さを 0.3 nm 以下に形成するととも

に、磁気抵抗変化率を 10% 以上とすることを特徴とする請求項 10 に記載の磁気トンネリング接合素子の製造方法。（ただし、

$\text{磁気抵抗変化率} = (R_{\max} - R_s) / R_s \times 100\%$

$R_{\max}$  : 前記上部磁性層と前記下部磁性層との間の抵抗値の最大値

$R_s$  : 前記下部磁性層の磁化容易軸方向に印加する磁界が 24 kA/m の時の前記抵抗値。）

【請求項 12】 前記下部電極層は、スパッタ法を用いて成膜されるとともに、前記成膜条件は、基板温度が 100℃ 以下およびガス圧が 5 Pa 以下であることを特徴とする請求項 10 に記載の磁気トンネリング接合素子の製造方法。

【請求項 13】 前記下部電極層は、Cu、Pt、Pd および Au の非磁性金属のうちの少なくともいずれか 1 種を用いることを特徴とする請求項 10 に記載の磁気トンネリング接合素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は磁気トンネリング接合素子およびその製造方法、これを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリならびに磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置に関し、さらに詳しくは、磁気抵抗変化率を大とする構造に特徴を有する磁気トンネリング接合素子およびその製造方法およびこれを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリならびに磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 一般に、基板上に形成される上部磁性層／絶縁層／下部磁性層を有する積層体において、絶縁層が数 nm 程度の場合に、両磁性層間に流れるトンネル電流の導電率（コンダクタンス）が両磁性層の磁化の相対角度に依存する磁気トンネリング効果が報告されている。（ここで、上部、下部とは、積層体が形成される基板に対して、基板側に近い方を下部とし、基板側から遠い方を上部とする。）

最近、この積層体として、例えば、Fe/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe の組み合わせにより、室温で約 18% という大きな磁気抵抗変化率が実現され、その物理的な発現機構のみならず応用をも含めて大きな注目を集めている。その一方で、この磁気トンネリング効果を利用した磁気トンネリング接合素子については、未だ基礎的な検討が始まったばかりである。以下、この磁気トンネリング接合素子の概略構成断面図である図 13 を参照して説明する。

【0003】 図 13 のように、磁気トンネリング接合素子 31 は、基板 2 上に上部磁性層 6／絶縁層 5／下部磁性層 4 を有する積層体を具備し、必要に応じて基板 2 と下部磁性層 4 との間に下部電極層 3 を有する構造となっている。磁気トンネリング接合素子 31 は積層面に対し

て垂直方向に電流を流すC P P (Current-Perpendicular-to-Plain)型のMR (磁気抵抗) 素子であり、デバイスへの応用を考えた場合、強磁性金属の下部磁性層4の下部に非磁性金属の下部電極層3が必要になるものと考えられる。この場合、非磁性金属の下部電極層3が電極層として機能することを考慮すると、ある程度の膜厚が要求され、この膜厚の増加にともない、膜の結晶粒が粗大化して平坦性が劣化する虞がある。また、この下部電極層3の平坦性の劣化が下部磁性層4にまで波及し、酸化Alの絶縁層5が1~2 nmと極めて薄いため、ピンホールなどの欠陥を生じ易く、上部磁性層6と下部磁性層4間で短絡が生じる可能性が考えられる。その結果、絶縁層5をトンネル電流がリークし、磁気抵抗変化率(または磁気抵抗比)が大幅に減少する虞があった。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、係る問題点に鑑み、基板上に上部磁性層/絶縁層/下部磁性層を有する積層体を具備する磁気トンネリング接合素子およびその製造方法、これを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリならびに磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置において、絶縁層の欠陥などを低減するとともに、大きな磁気抵抗変化率を有する磁気トンネリング接合素子を提供することを課題とする。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気トンネリング接合素子は、基板上に、上部磁性層/絶縁層/下部磁性層/下部電極層を有する積層体を具備し、絶縁層を挟み上部磁性層と下部磁性層との間に流れる電流のコンダクタンスが、上部磁性層の磁化と下部磁性層の磁化との相対角度に依存する磁気トンネリング効果を用いる磁気トンネリング接合素子において、下部電極層の下部磁性層に対する面の表面粗さは0.5 nm以下であることを特徴とする。この場合、表面粗さの下限は、ほぼ0 nmであることが望ましいが、現実の材料、表面粗さ測定装置の測定精度を考慮すると、0.1 nm程度である。

(以下同様)

ここで、上部、下部とは、積層構造が形成される基板に対して、基板側に近い方を下部とし、基板側から遠い方を上部とする。(以下同様)

【0006】表面粗さの定義は、中心線を基準にした粗度曲線の平均値で、次式によって計算される平均粗度 $R_a$ を用いる。

【数1】

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx$$

ここで、 $L$ は測定長さ、 $f(x)$ は粗度曲線を表す。なお、上記の平均粗度 $R_a$ の定義は、JIS B 0601「表面粗さ一定義及び表示」の附属書「中心線平均粗さの定義及

び表示」に準じている。

【0007】本発明の磁気トンネリング接合素子の製造方法は、基板上に、上部磁性層/絶縁層/下部磁性層/下部電極層を有する積層体を形成し、絶縁層を挟み上部磁性層と下部磁性層との間に流れる電流のコンダクタンスが上部磁性層の磁化と下部磁性層の磁化との相対角度に依存する磁気トンネリング効果を用いる磁気トンネリング接合素子の製造方法において、下部電極層の下部磁性層に対する面の表面粗さを0.5 nm以下に形成することを特徴とする。下部電極層は、スパッタ法を用いて成膜されるとともに、成膜条件は、基板温度が100℃以下およびガス圧が5 Pa以下であることが望ましい。この場合、基板温度の下限値は、常温程度であり、ガス圧の下限値は、0.1 Pa程度である。

【0008】本発明の磁気トンネリング接合素子および磁気トンネリング接合素子の製造方法において、下部電極層の下部磁性層に対する面の表面粗さは0.3 nm以下に形成するとともに、磁気抵抗変化率は10%以上とすることが可能である。この場合、磁気抵抗変化率の上限値は、現状の技術予測から必ずしも明らかではないが、数十%程度で、例えば50%程度である。(ただし、

$$\text{磁気抵抗変化率} = (R_{\max} - R_s) / R_s \times 100\%$$

$R_{\max}$  : 上部磁性層と下部磁性層間の抵抗値の最大値

$R_s$  : 下部磁性層の磁化容易軸方向に印加する磁界が24 kA/mの時の抵抗値。)

【0009】下部電極層は、Cu、Pt、PdおよびAuの非磁性金属のうちの少なくともいずれか1種を用いることが望ましい。

【0010】本発明の磁気ヘッドは、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする。

【0011】本発明の磁気センサは、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする。

【0012】本発明の磁気メモリは、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いたことを特徴とする。

【0013】本発明の磁気記録再生装置は、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッドを装着したことを特徴とする。

【0014】本発明の磁気センサ装置は、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気センサを装着したことを特徴とする。

【0015】本発明の磁気メモリ装置は、請求項1に記載の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気メモリを装着したことを特徴とする。

【0016】本発明の磁気トンネリング接合素子およびその製造方法によれば、Cu、Pd、Pt、Auなどを用いて下部電極層を形成することにより、容易に下部電極層の表面粗さを小として平坦化し、かつ膜厚に依存することなく形成できるので、絶縁層の欠陥などの発生を

抑制しつつ、抵抗値および磁気抵抗変化率を大とすることができる。本発明の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリおよびこれらを装着した磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置によれば、容易に下部電極層の表面粗さを小として平坦化し、かつ膜厚に依存することなく形成できるので、絶縁層の欠陥などの発生を抑制しつつ、抵抗値および磁気抵抗変化率を大とするとともに、出力および感度などの特性が優れたデバイスおよびこれらのデバイスを装着した装置を提供できる。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、磁気トンネリング接合素子の一例について、図を参照して説明する。

【0018】まず、磁気トンネリング接合素子の構造について、磁気トンネリング接合素子の概略構成断面図である図1を参照して説明する。磁気トンネリング接合素子は、センサなどへの実用化を考慮して、小さな磁界変化を検出可能にするために、ハードディスクドライブ

(HDD) 装置に具備される磁気ヘッドの再生ヘッドに適用されつつあるスピントラップ型の構造を採用している。すなわち、図1のように、磁気トンネリング接合素子1は、例えば表面を熱酸化処理したSiウェーハなどの基板2上に、基板2から遠い一方の上部磁性層6を反強磁性層7に近接することでフリーに磁化が回転しないようにし(磁化固定層)、基板2側に近い他方の下部磁性層4をフリーにした(磁化自由層)構成として、上部磁性層6と下部磁性層4との間に絶縁層5を挟む構成としている。これらの上部磁性層6および下部磁性層4としては、例えば磁界に対する感度がよいNi-Fe層9、12とCo層10、11の組み合わせが選択できる。Ni-Fe層9、12としては、例えばNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層(原子%)が好ましい。磁気トンネリング接合素子1の磁気抵抗変化率は、絶縁層5を挟んでいる両側の上部磁性層6および下部磁性層4の分極率が大きい程大きい値が得られるので、例えば分極率の大きなCo層10、11で絶縁層5を挟む構成としている。絶縁層5としては、例えば酸化したAl層を用い、反強磁性層7としては、例えばFe-Mn層が用いられる。さらにFe-Mn層は、腐食しやすいために、カバー層8として、例えばTa層などの非磁性金属層を有する。このような磁気トンネリング接合素子1をデバイス化する場合、比抵抗が小さいため、下部電極層3として、例えばAl、Cu、Pt、Pd、Auなどを用いた電極層が下部磁性層4と基板2との間に挿入される。

【0019】次に上記の磁気トンネリング接合素子を作製する方法を、図1および磁気トンネリング接合素子の概略斜視図である図2を参照して説明する。基板2としては、例えば表面を300nm熱酸化処理したSiウェーハを用い、減圧雰囲気中に保たれた不図示の真空槽中で

DCまたはRFのマグネトロン式のスパッタ法によりそれぞれの層を成膜する。すなわち、まず、到達真空度が例えば $4 \times 10^{-4}$  Pa以下に排気された真空槽中で、基板2上に、下部電極層3、下部磁性層4、絶縁層5、上部磁性層6、反強磁性層7、カバー層8の順に成膜する。その場合、磁性層はDCマグネトロン式スパッタ、非磁性層はRFマグネトロン式スパッタで、例えばArガス圧0.3Pa、投入電力4~6.5W/cm<sup>2</sup>で、基板2を回転させながら成膜する。また、絶縁層5は、Al層を成膜するとともにプラズマ酸化法を用いて酸化Al層を形成する。すなわち、例えば、Al層を成膜後、Ar:O<sub>2</sub>が2:1の割合で、0.3Paになるように酸素ガスを導入し、逆スパッタ式で基板2側にRF電力を印加し、酸素プラズマを生成する。この場合、逆スパッタ時にAl層のエッチングの虞があるので、例えば放電限界に近い0.003W/cm<sup>2</sup>のRF電力を投入することが好ましい。この状態で酸素プラズマ中に一定時間基板2をさらすことにより、Al層の酸化を行う。磁気トンネリング接合素子1のパターニングは、磁性体のメタルマスクを用いて行うことができる。

【0020】磁気トンネリング接合素子1は、図2のように、上部磁性層6と下部磁性層4とで絶縁層5を挟んだスピントラップ型の構造をしており、例えば上部磁性層6および下部磁性層4とに、それぞれ設けられた電圧測定端子13と電流供給端子14を用いた4端子法により抵抗特性を測定することができる。すなわち、磁気トンネリング接合素子1の抵抗-磁界曲線の測定は、下部磁性層4の不図示の磁化容易軸方向に磁界を印加させて直流4端子法で行うことができる。磁気抵抗変化率は、下部磁性層4の磁化容易軸方向に磁界を24kA/m印加時の上部磁性層6と下部磁性層4との間の抵抗値をR<sub>s</sub>、抵抗値の最大値をR<sub>max</sub>として、 $(R_{\text{max}} - R_s) / R_s \times 100\%$ と定義する。また、下部電極層3の表面形状の観察は、例えば原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy: 以下AFMと略す)を用いて行うことができる。

【0021】次に、本発明の別の実施の形態について説明する。ここでは、上記の実施の形態による磁気抵抗変化率を大とした磁気トンネリング接合素子を磁気抵抗効果素子として用いた磁気ヘッドを作製した例を説明する。図3は、磁気ヘッドの概略構成断面図である。

【0022】図3のように、磁気ヘッド15は、上記の磁気トンネリング接合素子1が再生ヘッドとして磁気シールド16、17に挟まれて配設され、記録ヘッドとして記録用磁気ポール18と記録用磁気コイル19が磁気シールド17の外側に配設されている。磁気トンネリング接合素子1は、大きな磁気抵抗変化率を有するので、磁気ヘッド15において、出力と感度とが優れた再生特性を得ることが可能である。

【0023】以上、磁気ヘッドの例について説明した

が、本発明の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気センサまたは磁気メモリなどにも適用することができる。

【0024】次に、本発明のさらに別の実施の形態について説明する。ここでは、上記の実施の形態による磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッドを搭載したHDD装置などの磁気記録再生装置の例を説明する。図4は、HDD装置の筐体の一部を切り欠き、その要部を示す概略斜視図である。図5は、HDD装置の磁気ヘッド支持体の概略構成断面図である。

【0025】すなわち、HDD装置20において、弾性を有する支持アーム21の一端に磁気ヘッド支持体22が装着され、支持アーム21の他端はアクチュエータ23が配設されている。支持アーム21は、その支軸を中心として自在に回転し、磁気ヘッド支持体22に固定される磁気ヘッドを所望の位置に移動することができる。情報を記録するハードディスク24は、不図示のスピンドルモータにより回転し、磁気ヘッドとの間で情報信号の電磁変換を行う。磁気ヘッド支持体22は、図5に示すように、非磁性のセラミックスからなるスライダ25の一端に磁気ヘッド15が装着されている。

【0026】以上、磁気ヘッドを搭載したHDD装置について説明したが、固定ヘッド型のビデオテープレコーダなどの磁気記録再生装置にも適用できる。また、本発明の磁気センサまたは磁気メモリを装着した磁気センサ装置または磁気メモリ装置などにも適用することができる。

#### 【0027】

【実施例】磁気トンネリング接合素子1の実施例として、以下の条件で試料を作製する。磁気トンネリング接合素子1の試料の構造と作製方法を図1を参照して説明する。

【0028】磁気トンネリング接合素子1の試料の基板2としては、表面を300nm熱酸化処理したSiウエーハを用い、減圧雰囲気中でDC式またはRFマグネトロン式のスパッタ法によりそれぞれの層を成膜する。すなわち、まず、到達真空度が $4 \times 10^{-5}$  Pa以下に排気された不図示の真空槽中で、基板2上に、下部電極層3、下部磁性層4、絶縁層5、上部磁性層6、反強磁性膜7、カバー層8の順に成膜する。その場合、磁性層はDCマグネトロン式スパッタ、非磁性層はRFマグネトロン式スパッタで、Arガス圧0.3Pa、投入電力4~6.5W/cm<sup>2</sup>で、基板を回転させながら成膜する。また、絶縁層5は、Al層を成膜するとともにプラズマ酸化法を用いて酸化Al層を形成する。すなわち、Al層を成膜後、Ar:O<sub>2</sub>が2:1の割合で、0.3Paになるように酸素ガスを導入し、逆スパッタ式で基板2側にRF電力を印加し、酸素プラズマを生成する。この場合、逆スパッタ時にAl層のエッチングの虞があるので、放電限界に近い0.003W/cm<sup>2</sup>のRF電力を投入する。この状態で200sec間、酸素プラズ

マ中に基板2をさらすことにより、Al層の酸化を行う。磁気トンネリング接合素子1のパターニングは、磁性体であるSUS460材のメタルマスクを用いて行う。

【0029】上記の方法で作製された各層の構成は以下の通りである。表面が300nm熱酸化処理されたSiウエーハの基板2上に、Ni-Fe層9としてNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層（原子%）を18.8nmとCo層10を3.9nmとを組み合わせた下部磁性層4が形成され、その上に絶縁層5としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層が1.3nm形成される。さらにその上に、下部磁性層4と同様に、Ni-Fe層12としてNi<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>層（原子%）を18.8nmとCo層11を2.6nmとを組み合わせた上部磁性層6が形成され、反強磁性層7としてFe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>層（原子%）が45nm形成される。反強磁性層7上には、カバー層8として、Ta層が20nm形成される。その場合、上記の層構成において、基板2と下部磁性層4との間に、非磁性金属の下部電極層3として、それぞれAl、Cu、Ptを用いた電極層を、膜厚を変化させて形成したものそれぞれ試料として用意する。そして、これらの試料について、抵抗特性と、下部電極層3の表面粗さの測定を以下のように行い、図7~図12のような測定結果を得た。

【0030】磁気トンネリング接合素子1は、図2のように、上部磁性層6と下部磁性層4とで絶縁層5を挟んだスピバルブ型の構造をしており、上部磁性層6および下部磁性層4とに、それぞれ設けられた電圧測定端子13と電流供給端子14とを用いた4端子法により、抵抗特性を測定することができる。抵抗値は、電圧測定端子13による測定電圧を抵抗値に換算して得られる。磁気トンネリング接合素子1の抵抗-磁界曲線の測定は、下部磁性層4の不図示の磁化容易軸方向に磁界を印加させて直流4端子法で行う。この場合の磁気トンネリング接合素子1の試料の接合部の面積は100μm×100μmである。磁気抵抗変化率（磁気抵抗比）は、下部磁性層4の磁化容易軸方向に磁界を24kA/m印加時の上部磁性層6と下部磁性層4間の抵抗値をR<sub>s</sub>、抵抗値の最大値をR<sub>max</sub>として、 $(R_{max} - R_s) / R_s \times 100\%$ と定義する。

【0031】また、下部電極層3の表面形状の観察は、AFMを用いて行う。AFM装置としては、例えばデジタルインスツルメント社製のnanoscope 3a-D3000を使用する。AFMによる表面粗さR<sub>a</sub>の測定条件は以下の通りである。AFMの測定条件は、例えば触針の走査範囲を1μm×1μmとし、走査周波数を1Hzで行う。すなわち、触針の走査方法としては、図6に示すように、上記の走査範囲26において、測定開始点27から図中のX方向へ、X方向の走査ピッチ28を1μm/512点(0.001953μm)で、1μmを1秒間に1回走査し、1μm走査した後、次に図中のY方向の走査ピ



ッチ29をX方向の走査ピッチ28と同じ走査ピッチでY方向へ移動し、X方向の反対方向へ同様に走査し、これらの走査を測定終了点30まで繰り返して、図中でXY面に垂直な高さ方向の値(表面粗さに相当)の測定を行う。そして、上記の高さ方向の値の全測定点のデータ処理を行い、図中の中央部であるA-A方向の表面粗さ曲線のプロファイルを決定し、表面粗さの値Raは、このプロファイルから算出する。

【0032】抵抗値と下部電極層3の膜厚との関係を図7に示す。図7のように、Alを下部電極層3に用いた場合は、抵抗値のばらつきがAl電極層の膜厚の増加とともに著しく増大し、抵抗値が数十Ωから数百Ωにばらついている。Cu、Ptを下部電極層3に用いた場合には、データのばらつきはあるものの、抵抗値は電極層厚にあまり依存しない。

【0033】磁気抵抗変化率と下部電極層3の膜厚との関係を図8に示す。図8のように、下部電極層3が、Al電極層の場合には、電極層厚の増加とともに、磁気抵抗変化率は減少し、電極層厚が30nmを超えると磁気抵抗効果が発現しなくなる。一方、Cu電極層の場合は、電極層厚を80nmまで厚くしても磁気抵抗変化率は最大で10%以上の値が得られている。また、Pt電極層の場合は、磁気抵抗変化率が現れているものの、膜厚の増加とともに、磁気抵抗変化率は徐々に減少する。上記の非磁性金属の材料のなかでは、磁気トンネリング接合の下部電極層3の材料としてはCuが有望であることがわかる。

【0034】次に磁気抵抗変化率の変化が下部電極層3の付与による下部電極層3の表面の平坦性の劣化によるものと考え、下部電極層3の厚さと電極層材料を変化させた試料面をAFMで観察した。AFMで測定した下部電極層3の表面粗さと膜厚との関係を図9に示す。図9のように、Cu電極層、Pt電極層の場合は、電極層を付与しても表面粗さRaの増大は、ほとんど認められず、Al電極層の場合は、電極層の厚さが10nmを超えると急激にRaが増大している。

【0035】磁気抵抗変化率と下部電極層3の表面粗さとの関係を図10に示す。図10のように、磁気抵抗変化率は、電極層材料に依存せず、表面粗さRaの増加とともに、減少している。この結果、磁気抵抗変化率が10%以上を得るためには、Raを0.3nm以下に抑える必要があることがわかる。Cuを下部電極層3に用いた場合、Raが0.3~0.4nmの間に入っており、10%程度の磁気抵抗変化率が得られている。

【0036】さらに、下部電極層3の表面粗さに影響を及ぼすと考えられる成膜時の基板温度とガス圧の影響を、Cu電極層について調べた。下部電極層の成膜時の基板温度と表面粗さとの関係を図11に示す。図11のように、下部電極層3の表面粗さRaは、成膜時に基板温度Tsubが100℃を超えると急激に増大している。

したがって、基板温度は、100℃以下で成膜した場合には0.3nm以下の表面粗さとなっており磁気抵抗変化率が10%以上と大になることが推測される。

【0037】次に、下部電極層の成膜時のガス圧と表面粗さの関係を図12に示す。図12のように、下部電極層3をガス圧Pspが5Paを超えて成膜した場合は、下部電極層3の表面の平坦性が劣化していることがわかる。したがって、ガス圧は5Pa以下で成膜した場合に、表面粗さRaは0.3nm以下となっており磁気抵抗変化率が10%以上と大になることが推測される。したがって、以上のことから、下部電極層3としてCu電極層を用いた場合、成膜時の条件として、成膜温度100℃以下、ガス圧5Pa以下であることが望ましいことがわかる。

【0038】上記の下部電極層3を用いた試料としては、Al電極層の場合が、電極層表面の平坦性の劣化が著しい。一方、Cu電極層、Pt電極層の場合は、平坦性がそれほど変化しない。これらの原因は、電極層の金属材料の融点の違いによるものと考えられる。すなわち、Alは他の金属と比べて933Kと融点が極めて低い。そのため、スパッタされたAl原子が基板上で凝集しやすいために結晶粒が膜の厚さ方向に成長して、その結果、平坦性が劣化しやすいものと考えられる。一方、Cu、Ptの融点は、それぞれ1357K、2041Kとなっており、Alよりも高い。したがって、上記の電極層と他の金属材料においても、融点がAlよりも高く、Ni-Feの面心立方格子(111)面への結晶配向性を阻害しない、例えばAu、Pdなどが下部電極層3の材料として適するものと考えられる。

【0039】

【発明の効果】本発明の磁気トンネリング接合素子およびその製造方法によれば、Cu、Pd、Pt、Auなどを用いて容易に平坦な下部電極層を形成することができるので、抵抗値および磁気抵抗変化率を大とすることができる。本発明の磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気メモリおよびこれらを装着した磁気記録再生装置、磁気センサ装置、磁気メモリ装置によれば、容易に平坦な下部電極層を形成できるとともに抵抗値および磁気抵抗変化率を大とできるので、出力および感度などの特性が優れたデバイスおよびこれらのデバイスを装着した装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の概略構成断面図である。

【図2】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の概略斜視図である。

【図3】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子を用いた磁気ヘッドの概略構成断面図である。

【図4】 本発明に係わる磁気ヘッドを装着したHDD装置の概略斜視図である。

11

【図5】 本発明に係わるHDD装置の磁気ヘッド支持体の概略構成断面図である。

【図6】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の表面観察のためのAFMの触針の走査範囲を示す模式図である。

【図7】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の抵抗値と下部電極層の膜厚との関係である。

【図8】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の磁気抵抗変化率と下部電極層の膜厚との関係である。

【図9】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の下部電極層の、AFMで測定した表面粗さと膜厚との関係である。

【図10】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の磁気抵抗変化率と下部電極層の表面粗さとの関係である。

【図11】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の下部電極層の成膜時の基板温度と表面粗さとの関係である。

\*

12

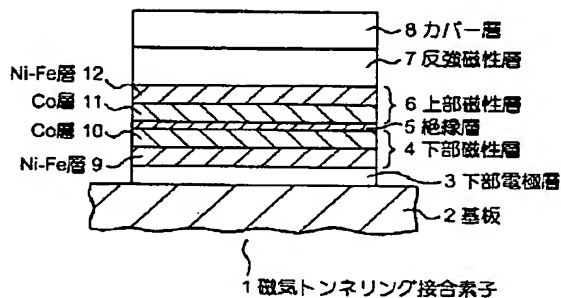
\* 【図12】 本発明に係わる磁気トンネリング接合素子の下部電極層の成膜時のガス圧と表面粗さとの関係である。

【図13】 従来の磁気トンネリング接合素子の概略構成断面図である。

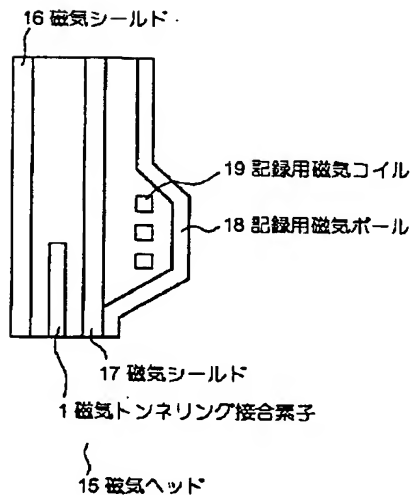
【符号の説明】

1, 3 1…磁気トンネリング接合素子、2…基板、3…下部電極層、4…下部磁性層、5…絶縁層、6…上部磁性層、7…反強磁性層、8…カバー層、9, 12…Ni-Fe層、10, 11…Co層、13…電圧測定端子、14…電流供給端子、15…磁気ヘッド、16, 17…磁気シールド、18…記録用磁気ポール、19…記録用磁気コイル、20…HDD装置、21…支持アーム、22…磁気ヘッド支持体、23…アクチュエータ、24…ハードディスク、25…スライダ、26…走査範囲、27…測定開始点、28…X方向の走査ピッチ、29…Y方向の走査ピッチ、30…測定終了点

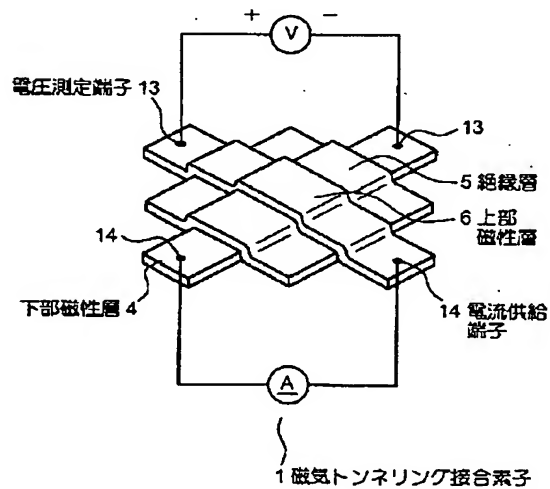
【図1】



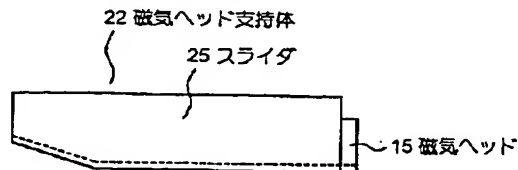
【図3】



【図2】

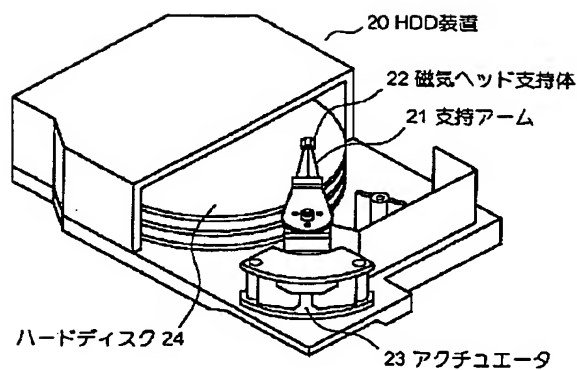


【図5】

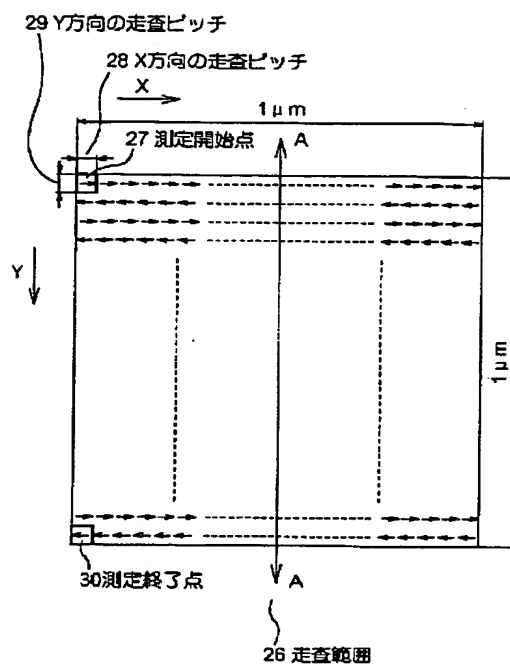




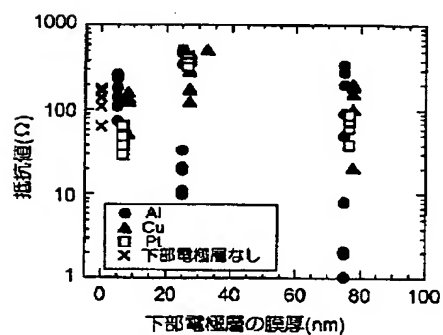
【図4】



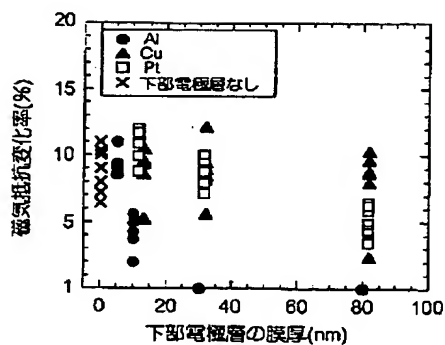
【図6】



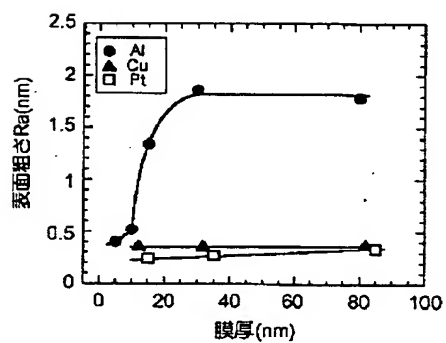
【図7】



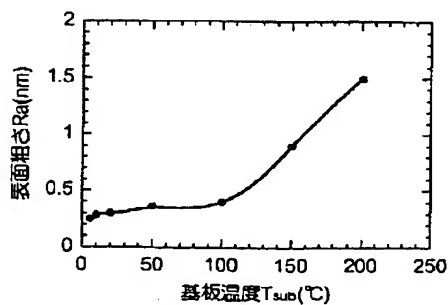
【図8】



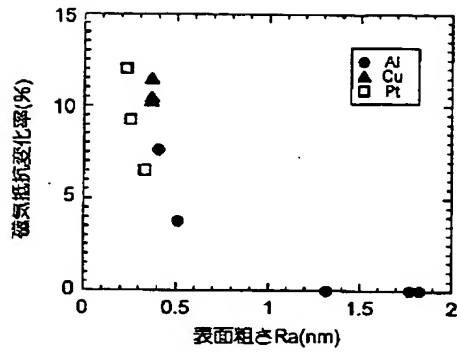
【図9】



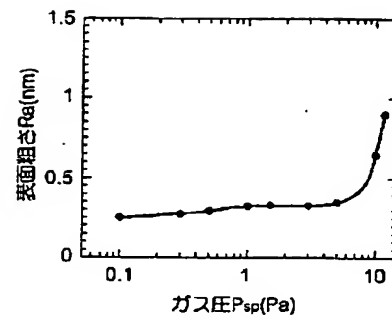
【図11】



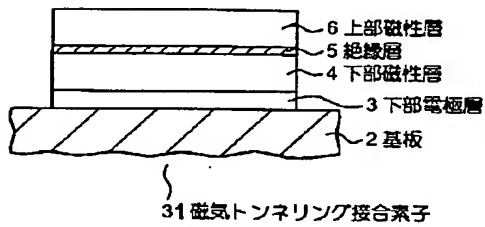
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G017 AD55 AD62 AD63 AD65  
 5D034 BA05 BA09 BA15 B812 DA07  
 5E049 AA04 AA07 AA09 AC00 AC05  
 BA12 BA16 CB02 DB02 DB14  
 GC01